

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.33 (2001) No.4
自動車用鋼管・鉄粉特集号

自動車排ガス用高加工性ステンレス鋼管

High-formability ERW Stainless Steel Pipes for Automotive Exhaust System

郡司 牧男 (Gunji, M.) 宮崎 淳 (Miyazaki, A.) 豊岡 高明 (Toyooka, T.)

要旨：

自動車排気系用に使われるステンレス鋼パイプは、高温にさらされるエキゾーストマニフールドから、凝縮水にさらされるマフラーまで使用部位により環境が異なり、最適な種類がある。また、エンジンルーム、排気管取りまわしのスペースの制約、および工数削減のため、より一層の高加工性が要求されている。川崎製鉄は、用途にあったさまざまな鋼種を開発し、CBR 造管機および高 r 値化により高加工性パイプを開発した。本パイプの加工性は、従来鋼の焼鈍パイプの特性に近い水準にまで向上した。

Synopsis：

Applications of stainless steel to automotive parts for lighter weight and higher durability, ultimately contributing to environmental protection, have been increasing. Kawasaki Steel has developed a new forming process and a mill. This mill was termed CBR (chance-free bulge roll) forming mill that adopts a new design of a roll flower pattern. High quality ERW stainless steel pipe, which has excellent formability and high quality of welded seam, satisfactorily produced by this mill. The average r-value of the newly developed stainless steel was improved by more than 1.3 times in comparison with the conventional stainless steel while retaining the same level of heat resistance. Therefore, the formability of the newly developed stainless steel pipes was nearly equal to that of conventional stainless steel pipes after stress relief annealing.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

High-formability ERW Stainless Steel Pipes
for Automotive Exhaust System郡司 牧男
Makio Gunji知多製造所
商品技術部 商品技術
室 主査(課長補)宮崎 淳
Atshushi Miyazaki技術研究所
ステンレス鋼研究部門
主任研究員(課長)豊岡 高明
Takaaki Toyooka技術研究所
鋼管・鋳物研究部門
長・工博

要旨

自動車排気系用に使われるステンレス鋼パイプは、高温にさらされるエキゾーストマニフォールドから、凝縮水にさらされるマフラーまで使用部位により環境が異なり、最適な種類がある。また、エンジンルーム、排気管取りまわしのスペースの制約、および工数削減のため、より一層の高加工性が要求されている。川崎製鉄は、用途にあったさまざまな鋼種を開発し、CBR 造管機および高 r 値化により高加工性パイプを開発した。本パイプの加工性は、従来鋼の焼鈍パイプの特性に近い水準にまで向上した。

Synopsis:

Applications of stainless steel to automotive parts for lighter weight and higher durability, ultimately contributing to environmental protection, have been increasing. Kawasaki Steel has developed a new forming process and a mill. This mill was termed CBR (chance-free bulge roll) forming mill that adopts a new design of a roll flower pattern. High quality ERW stainless steel pipe, which has excellent formability and high quality of welded seam, satisfactorily produced by this mill. The average r -value of the newly developed stainless steel was improved by more than 1.3 times in comparison with the conventional stainless steel while retaining the same level of heat resistance. Therefore, the formability of the newly developed stainless steel pipes was nearly equal to that of conventional stainless steel pipes after stress relief annealing.

1 緒 言

地球環境問題解決のため、自動車においては、排ガス浄化率の向上が強く求められており、米国では LEV 規制などの法規制が進められている。近年では、CO₂ 排出削減も重要な課題になっている。これらの対応策として燃料消費量の削減と触媒の浄化性能向上が図られている。燃料消費量の削減の手段としては、軽量化および排気系素材の耐高温特性を向上させて排気ガスの冷却に使用される燃料の削減などがある。耐食性を上げることにより肉厚を薄肉化して軽量化することも実施されている。触媒の浄化性能向上の手段としては、触媒自体の改良はもとより、排気ガスの温度低下を抑制して触媒の始動性を向上させるため触媒装置をエンジン近くへ配置したりする。このことによりエンジンルームのスペースは狭くなっており、エキゾーストマニフォールドはもとよりそれに続くフロント部の排気管もスペースの制約から、極小 R 曲げの加工が必要になっている。またコストダウンのためフランジなどを省略するため拡管率が大きくなることがあり、パイプに対して一層の加工特性の向上が要求されている。

本報では、加工性を向上させた CBR 成形ミルにより、高 r 値化

した素材を用いて造管した自動車排気系用ステンレス鋼パイプの加工特性について述べる。

2 自動車排ガス用パイプの種類と特性

自動車用排気ガス用ステンレス鋼パイプは、使用部位の温度、環境に応じて Fig. 1 に示すような種類がある。代表的な成分を

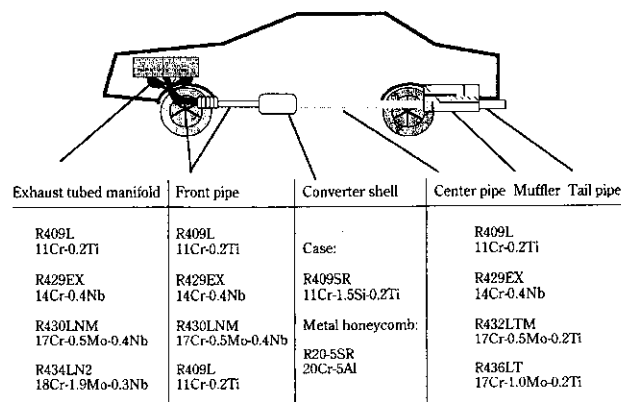


Fig. 1 Example of stainless steel tube for exhaust system

* 平成13年10月26日原稿受付

Table 1 Chemical compositions of stainless steel tubes for automotive exhaust system

Kawasaki Steel standard	Element content						
	C	Si	Mn	Cr	Nb	Mo	Ti
R409L	0.010	0.41	0.28	11.3	—	—	0.23
R429EX	0.008	0.80	0.39	14.7	0.45	—	—
R430LNM	0.012	0.23	0.31	17.2	0.40	0.53	—
R434LN2	0.010	0.35	0.35	18.0	0.35	1.95	—
R436LT	0.008	0.08	0.16	17.8	—	1.10	0.34
R432LTM	0.005	0.06	0.22	17.3	—	0.54	0.33

Table 2 Mechanical properties of ERW stainless steel pipes for automotive according to JIS11

		YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)
2.0t × 48.6φ	R409L	395	420	56
	R429EX	445	495	48
	R430LNM	490	525	45
1.5t × 38.1φ	R409L	375	420	55
	R429EX	471	503	47
	R436LT	430	475	46
	R432LNM	450	490	42

Table 1 に示す。代表的な機械的特性（JIS11号管状引張試験結果）を Table 2 に示す。

エンジン直下のエキゾーストマニフォールド、フロントエキゾーストパイプでは、高温な排気ガス温度に耐えるため、耐高温酸化性、耐高温疲労特性、耐熱疲労特性が要求される。これに対しマフラー近傍のセンターエキゾーストパイプでは、排気ガスによる凝縮水に対する耐食性が要求される。使用される鋼管のサイズは、排気抵抗

の点からはなるべく大口径が望ましい。スペースの制約などにより車種ごとに適切なサイズが設計されている。また、肉厚については、軽量化の点からは、肉厚はなるべく薄くしたいが、疲労寿命、遮音性、腐食性の点から部位と車種の特性により適切な設計がされている。ただし傾向としては軽量化のため薄肉化が進んでいる。

川崎製鉄の製造可能範囲も従来にくらべて大径サイズが製造できるように製造可能範囲を広げている（Table 3）。

3 CBR 成形ミルの特徴

加工性を向上させるために、川崎製鉄では、独自に開発した低歪な成形方法である CBR ミルにより造管している。成形フラワーを Fig. 2 に、ミルラインの概要を Fig. 3 に示す。従来のブレイクダウン方式は、上下一対のロールで挟んで成形しているが、CBR ミルは、狭い間隔で配列したケージロールにより成形しており、非常にコンパクトになっている。このためブレイクダウン方式では避けられない上下ロールでの絞りにともなう歪を加えることなく成形できる。成形途中のフープの外観を Photo 1 に、成形中の帯の状況

Table 3 Available size range

		D (mm)																		
		76.3	75.0	70.0	65.0	63.5	60.5	57.2	54.0	50.8	48.6	45.0	42.7	41.3	40.0	38.1	35.0	34.0	31.8	28.6
t (mm)	0.6	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.8	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.0	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.2	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.5	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2.0	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2.5	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×

○: Available

×: Consultation required

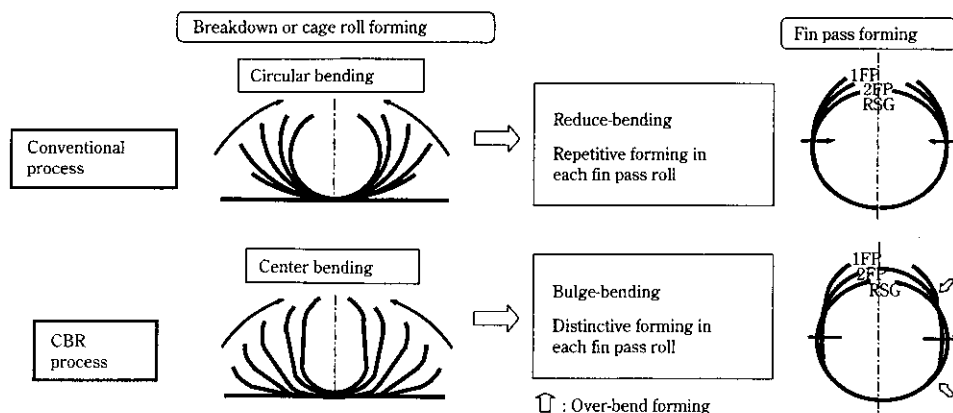


Fig. 2 Features of the CBR forming flower

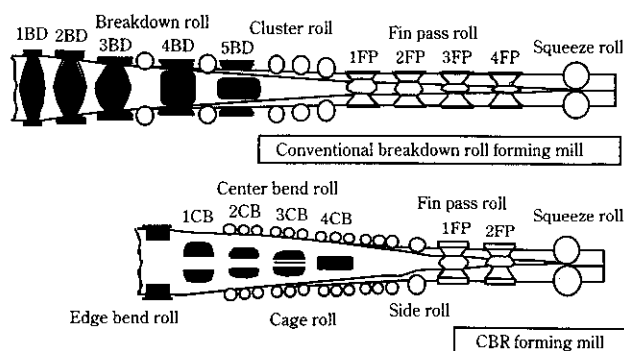


Fig. 3 Comparison of mill layout

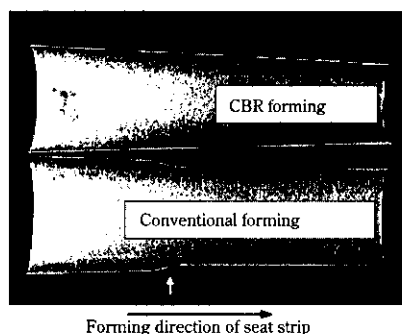


Photo 1 Comparison of deformation in middle pass

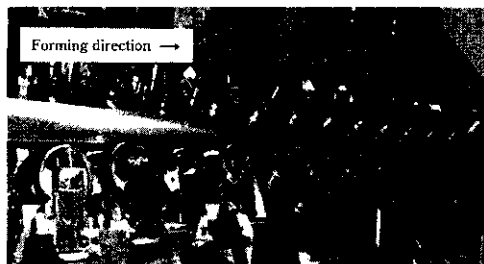


Photo 2 Appearance of strip sheet in cage roll forming zone of CBR forming mill

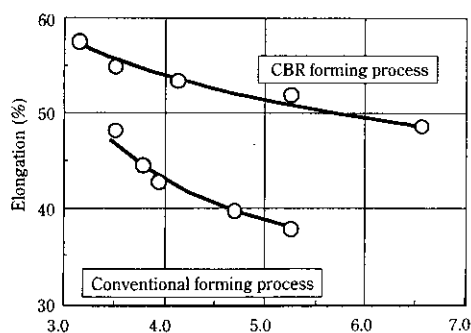


Fig. 4 Elongation improvement of ERW stainless steel pipe (SUH409L) (CBR vs. conventional)

を Photo 2 に示す。Photo 2 においてフープエッジが直線的に成形されているのが分かる。

パイプの伸びについて、CBR ミルで造管したものと従来のブレークダウン方式で造管したものを比較した結果を Fig. 4 に示す。

Table 4 Mechanical properties of ERW stainless steel pipes, Type429Nb (R429EX) according to JIS11

	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	r-value
Newly developed steel	465	511	49	1.6
Conventional steel	438	488	50	1.2
Conventional steel after stress relief annealing	299	501	51	—

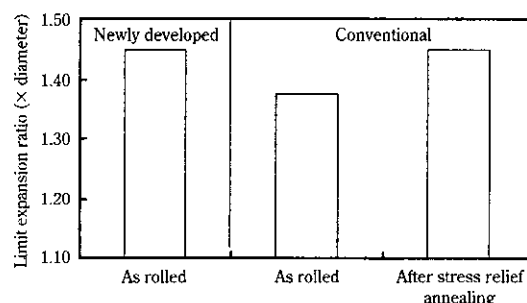
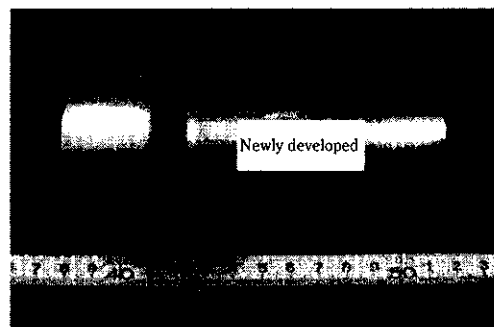
Pipe size: 1.2 mm ϕ $\times$ 42.7 mm ϕ 

Fig. 5 Comparison of limit expansion ratio between newly developed and conventional stainless ERW pipes

Photo 3 Appearance of ERW pipe (1.5 mm ϕ $\times$ 42.7 mm ϕ) after expansion test (Expansion ratio = 1.45 $\times$ Diameter)

CBR ミルで造管したものは、約 10% 伸びが向上している。

4 高 r 値化素材を用いた鋼管の特性

エキゾーストマニホールドに使用される 800°C 以上の高い排ガス温度に適用される Type429Nb (当社規格 R429EX) について、素材 r 値のパイプの加工性に及ぼす影響について述べる。Table 4 に鋼管の機械的特性をパイプ焼鈍品とともに示す。AS ROLL 品では、従来材と高 r 値材²⁾の特性を比較した場合、伸びを含め、素材の r 値以外差はみられない。パイプ焼鈍材は、焼鈍により YS が低くなっている。

パイプの加工性の比較として、拡管 (6 枚セグメントによる拡管)、曲げ加工 (50 R, 90°) での比較を試みた。拡管加工において、高 r 値材は、焼鈍材並の限界拡管率を示し、従来材では、1.37 D の拡管率で破断がみられた。一方高 r 値材では、1.45 D まで拡管することができた (Fig. 5, Photo 3)。曲げ加工において、高 r 値材は、従来材に比べて肉厚減少率で約 5% 向上した。これは、従来肉厚減少率の規定値により焼鈍が必要であった部品などにおいて焼鈍を省略



Photo 4 Appearance of ERW pipe of newly developed stainless steel after 50 mm R-90° bending (3 points)

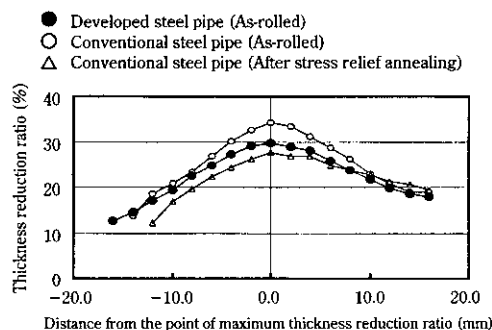


Fig. 6 Comparison of thickness reduction ratio after 90° bending between newly developed and conventional stainless steel pipes

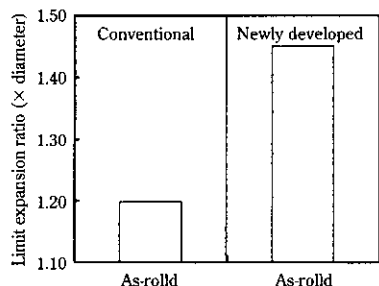


Fig. 7 Comparison of limit expansion ratio between newly developed and conventional stainless ERW pipes (R436LT: 1.2 mm t × 28.6 mm φ)

できる可能性を示している (Photo 4, Fig. 6)。

次に、高 r 値化した SUS436L (R436LT) の拡管特性を Fig. 7 に示す。また拡管後の試料を Photo 5 に示す。R436LT においても、R429EX と同様に高 r 値化したことにより、限界拡管率が従来の $1.2D$ から $1.45D$ へと向上している。

また、近年注目されているハイドロフォームにおける高 r 値化の影響を当社で開発した加工シミュレーションで計算した結果を Fig. 8, 9 に示す。このときのローディングパス条件を Fig. 10, Table 5 に示す。一般的な T 字成形をした場合の張り出し高さと肉厚の関係を、 r 値を 1.0 と 1.4 の場合について示す。T 字の上部の押さえとしてのカウンタープレートがない場合、張り出し高さ 20 mm のとき r 値 1.0 での肉厚 0.65 mm に対し、 r 値 1.4 のときは、肉厚 0.87 mm と 1.0 mm からの肉厚減少量が大きく減少している。

5 結 言

川崎製鉄の自動車排気系ステンレス鋼管は、CBR ミルと高 r 値

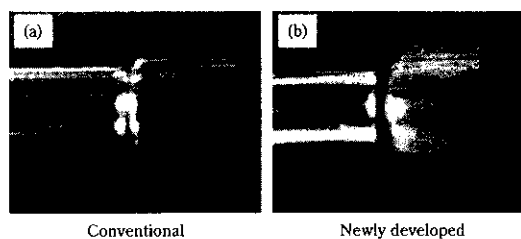


Photo 5 Appearance of test pieces after expansion test (SUS436L "R436LT" 1.2 mm t × 28.6 mm φ), (a) conventional stainless steel pipe (Limit expansion ratio 1.20), (b) newly developed stainless steel pipe (Limit expansion ratio 1.45)

Tube: 42.7 φ × 1.0 t × 200 L
Material parameters (SUS430):

$$\sigma = 784 (\epsilon + 0.06)^{0.2}$$

$$r = 1.0, 1.4$$

Friction coefficient:

$$\mu = 0.06 \text{ (Die-Tube)}$$

$$\mu = 0.1 \text{ (Counter plate-Tube)}$$

Rigid connection
(Axial feed punch-Tube)

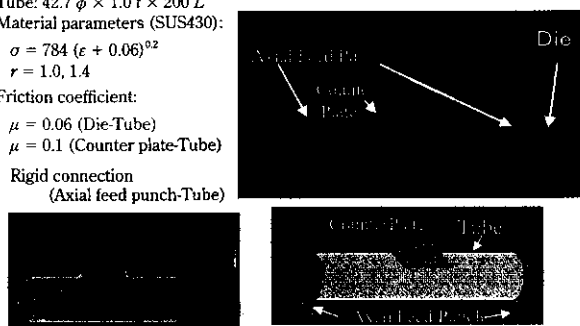


Fig. 8 FEM simulation for tube hydroforming of tees

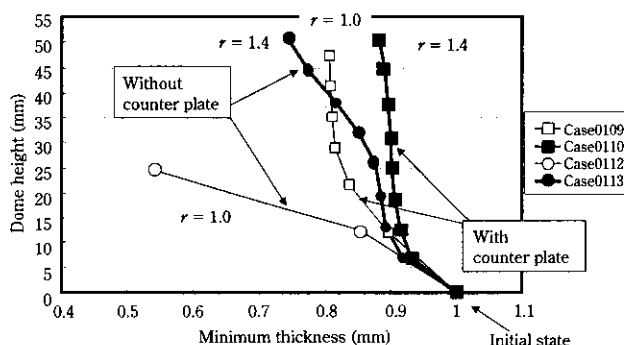


Fig. 9 Comparison of minimum thickness and dome height

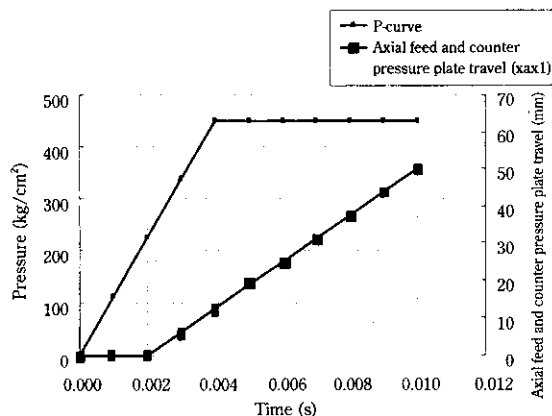


Fig. 10 Loading curve

Table 5 Parameters in FEM simulation for tube hydroforming of tees

Case	Loading path			Material	Thickness (mm)	n-value
	Pressure	Ax. Feed	Counter			
0109	225/450	xax1	Used	SUS430	1.0	1.0
0110	225/450	xax1	Used	SUS430	1.0	1.4
0112	225/450	xax1	Not used	SUS430	1.0	1.0
0113	225/450	xax1	Not used	SUS430	1.0	1.4

鋼板を用いることにより、従来に比べて格段にパイプの加工性を向上させることができた。たとえば、曲げ加工において従来材では、曲げ加工後の減肉率 34% になってしまったものが開発鋼管は、減

肉率 29% と一般的に定められる減肉率の仕様をクリアすることができた。このように、今後一層要求が高まる加工性の向上に対して対応していけると考える。

参 考 文 献

- 1) 豊岡高明, 橋本祐二, 郡司牧男: 川崎製鉄技報, 29(1997)2, 78-83
- 2) 宮崎 淳, 馬場幸裕, 郡司牧男: 川崎製鉄技報, 33(2001)2, 72-76